



ESPAÑA

19 ES	11	NUMERO	10 A1
	21	454.751	
	22	FECHA DE PRESENTACION	
		31-12-76	

PATENTE DE INVENCION

A1 454.751 780101 C21B 13/00

30 PRIORIDADES:	32 FECHA	33 PAIS
31 NUMERO		
646,379	2-1-76	Estados Unidos.

43 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	C21B	

64 TITULO DE LA INVENCION

UN PROCEDIMIENTO PARA LA REDUCCION, POR CARGAS DE MATERIAL, DE UN OXIDO METALICO EN METAL ESPONJOSO.

71 SOLICITANTE (ES)

FIERRO ESPONJA, S.A.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

Avenida los Angeles al Oriente, Monterrey, N.L., Méjico.

72 INVENTOR (ES)

D. Juan Celada de nacionalidad mejicana y Patrick William Mackay de nacionalidad estadounidense.

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE

D. BERNARDO UNGRIA GOIBURU

POOR
QUALITY

REF: File 124263

EXTRACTO DE LA EXPOSICION

1 Un proceso para la reducción directa gaseosa
de mineral de hierro a hierro esponja, en donde el hierro es
ponja se enfría, con un gas de enfriamiento que contiene car
5 bono mediante un procedimiento usando dicho gas a dos tempe-
raturas que incrementa la transferencia de carbono del gas -
de enfriamiento al hierro esponja y permite por lo tanto la
producción de un producto que tiene una combinación de meta-
lización relativamente baja o moderada y metalización poten-
10 cial relativamente elevada. Se logra un incremento en la pro-
ductividad de la planta de reducción directa y en la produc-
tividad global de la planta de acero integrada.

15 Esta invención se refiere a la reducción gaseo-
sa de óxidos de metal a metales elementales, a temperaturas
elevadas y más particularmente a un método mejorado usando -
gas de enfriamiento a dos temperaturas para enfriar el metal
reducido a fin de obtener deseablemente una metalización "po-
tencial" relativamente elevada, en combinación con una metali-
zación relativamente baja. La invención es especialmente útil
20 en relación con la reducción directa gaseosa de minerales de
óxido de hierro en forma de partículas a hierro esponja, y se
describirá ilustrativamente en relación con este empleo, aun-
que a medida que prosiga la descripción, se hará aparente que
la invención puede ser utilizada igualmente en procesos en -
25 donde se reducen óxidos de metal diferentes a los óxidos de
hierro, v.gr. óxidos de metales tales como cobre, níquel y -
estaño.

30 En uno de sus aspectos la presente invención -
comprende una mejora en un proceso intermitente conocido para
producir hierro esponja, dicho proceso es del tipo general -

1 descrito, por ejemplo, en las Patentes de los Estados Unidos
2,900,247; 3,423,201; 3,890,142; y 3,904,397. En dicho proce
so se utiliza un sistema reactor de unidad múltiple en donde
se tratan simultáneamente cuerpos separados de material fe-
5 rroso. Las operaciones principales llevadas a cabo en el sis
tema reactor, son (1) cargar y descargar los reactores, (2)
la reducción y (3) el enfriamiento del mineral reducido. Por
conveniencia estas tres operaciones se caracterizan en la -
presente como la etapa de producción, la etapa de reducción y
10 la etapa de enfriamiento. En el sistema particular ilustrati
vamente descrito a continuación, se utilizan dos etapas de -
reducción y, por lo tanto, se emplean cuatro reactores para
llevar a cabo las tres operaciones principales. Los reactores
se conectan de manera que, durante un ciclo de operaciones
15 dado, el gas de reducción de una fuente adecuada comunmente
una mezcla compuesta en gran parte de monóxido de carbono e
hidrógeno formado de cualquier manera adecuada, tal como, v.
gr. de una mezcla de vapor e hidrocarburo en un reformador
catalítico, fluye sucesivamente a través de un reactor que -
20 está en la etapa de enfriamiento, un reactor que está en la
segunda etapa de reducción y un reactor que está en la prime
ra etapa de reducción. El cuarto reactor se desconecta del
sistema para descargar y cargar. El sistema se provee con -
25 válvulas de conmutación adecuadas por lo cual al final de ca
da ciclo el flujo de gas puede desplazarse para provocar que
el reactor en la etapa de enfriamiento se haga el reactor de
la etapa de producción, el reactor en la segunda etapa de re
ducción se haga el reactor en la etapa de enfriamiento, el
30 reactor en la primera etapa de reducción se haga el reactor
en la segunda etapa de reducción, y el reactor en la etapa

1 de producción se haga el reactor en la primera etapa de re-
ducción. De esta manera, durante una serie de cuatro ciclos,
cada reactor opera sucesivamente en cada una de las cuatro.
etapas de operación. A fin de simplificar la ilustración en
5 los dibujos anexos y la descripción, se han omitido las co-
nexiones de conmutación que son bien conocidas en la técnica
y la operación del sistema se describe con referencia a un -
ciclo particular.

El hierro esponja producido mediante un proce-
10 dimiento del tipo descrito en las Patentes de los Estados Uni-
dos identificadas con anterioridad, se utiliza comunmente
como una fuente de unidades de hierro para la fabricación de
acero en un horno de arco eléctrico. Dicho hierro esponja -
normalmente contiene cierta proporción de óxido de hierro,
15 v.gr. de 10% a 20% en peso, ya que es ineconómico intentar -
lograr una metalización de 100% del mineral. A medida que el
grado de reducción del material que contiene hierro se aproxi-
ma al 100% de metalización, se hace incrementadamente difí-
cil y tardada la separación del oxígeno restante del material
20 y se requiere de una cantidad excesiva de gas reductor. Aun-
que la velocidad de la reacción de reducción puede incrementar-
se en algún grado incrementando la temperatura, dicho incre-
mento de temperatura está limitado por el hecho de que la tem-
peratura de operación debe mantenerse por debajo de la tempe-
25 ratura de sinterización si se desea que el hierro esponja se
descargue fácilmente del reactor.

Esta limitación de temperatura no se aplica al
horno eléctrico, en donde el material que contiene hierro se
maneja en forma fundida. De esta manera, es teóricamente po-
30 sible cargar el horno eléctrico con hierro esponja de una me

1 talización digamos del 85% y agregar una cantidad suficien-
te de carbón elemental a la carga del horno para reaccionar
con el oxígeno que permanece en el mineral de hierro. Sin -
embargo, es difícil efectuar un contacto íntimo entre el car-
5 bón elemental y las partículas de hierro esponja en el horno
eléctrico, especialmente porque el carbón tiene una densidad
mucho más baja que el hierro y tiende a segregarse del mis-
mo.

10 Como se describió por ejemplo, en la Patente
de los Estados Unidos 3,423,201, el reactor de enfriamiento
de un sistema de reducción gaseoso puede operarse de tal ma-
nera que provoque que el carbón se deposite en la superficie
de las partículas de hierro esponja que se están enfriando.
Dicha depositación de carbón puede lograrse utilizando un -
15 gas de enfriamiento que contiene carbón, el cual dentro del
intervalo de temperatura digamos de 400°C a 700°C., se frac-
ciona para depositar carbón que se difunde dentro de las par-
tículas y reacciona con el hierro para formar carburo de hie-
rro que se concentra en gran parte en las porciones exterior-
20 res de las partículas del hierro esponja. El hierro esponja -
resultante que contiene carburo de hierro tiene un punto de
fusión menor, lo que facilita su fusión en el procedimiento
para la fabricación de acero. También, el carbón en la forma
de carburo de hierro es considerablemente más reactivo que
25 el carbón a granel y es un agente de reducción más efectivo
para el oxígeno residual del hierro esponja en el horno eléc-
trico. Además, la reacción de reducción produce monóxido de
carbono que burbujea a través del material fundido y produce
una agitación deseable del mismo. Aún una ventaja adicional
30 del empleo del hierro esponja que contiene carburo de hierro

1 es que la reacción del carburo de hierro con el FeO residual
en el hierro esponja consume menos calor que la reacción en-
tre el carbón elemental y el FeO.

5 Aunque dicha depositación de carbón es útil pa-
ra permitir que el horno eléctrico, con su temperatura de
operación relativamente elevada, separe el oxígeno adicional
del hierro esponja, la depositación de carbón que puede efec-
tuarse en el reactor de enfriamiento de los sistemas de la
técnica anterior es muy limitada. Por ejemplo, utilizando un
10 procedimiento de enfriamiento del tipo descrito en la Paten-
te de los Estados Unidos 3,423,201, es posible introducir al
metal reducido hasta aproximadamente 2% en peso de carbón.
Como se explicará más completamente a continuación, cada por-
centaje de carbón es capaz de incrementar autotérmicamente
15 el porcentaje de metalización del hierro esponja en el horno
eléctrico, en aproximadamente 5%. Por lo tanto, un 2% de car-
bón depositado únicamente es capaz de incrementar el porcen-
taje de metal en el hierro esponja en aproximadamente 10%.

20 El término "metalización" según se utiliza en
la presente, significa la suma del hierro elemental y el hie-
rro asociado con el carbón como carburo de hierro, expresado
como un porcentaje en peso del hierro total en la esponja. De
esta manera, un hierro esponja de 85% de metalización y que
contiene 2% de carbón, logrará una metalización de aproxima-
25 damente 95% en un horno para la fabricación de acero. Esta -
relación puede caracterizarse convenientemente por el térmi-
no metalización "potencial" esto es, un hierro esponja que
contiene un 85% de metalización y que contiene 2% de carbón,
puede decirse que tiene una metalización "potencial" de apro-
30 ximadamente 95%.

1 Ya que los procesos de la técnica anterior pa-
ra carburizar el hierro esponja en el reactor de enfriamien-
to, producen una depositación de carbón máxima de aproximada-
mente 2% en peso, dichos procesos permiten al operador algu-
5 na posibilidad de tomar ventaja del potencial de reducción -
más elevado del horno eléctrico. Sin embargo, ya que no pue-
de depositarse más de aproximadamente 2% de carbón en estos
procesos anteriores, el grado en el cual puede utilizarse la
capacidad de reducción del horno eléctrico está bastante li-
mitado.
10

Consecuentemente, es un objeto de la presente
invención proporcionar un procedimiento para la reducción ga-
seosa de mineral de hierro para producir hierro esponja, y la
utilización del hierro esponja en la fabricación de acero, ca-
15 racterizado por el hecho de que el costo de producción de las
unidades de hierro esponja que se convertirán en acero es re-
lativamente bajo. Es otro objeto de la invención proporcionar
un proceso para fabricar hierro esponja el cual permita que
una proporción mayor del proceso de reducción se lleve a ca-
20 bo en el ambiente de temperatura elevada del horno para la -
fabricación de acero, lo cual resulta económicamente ventajo-
so. Aún es otro objeto de la invención proporcionar un proce-
so para producir hierro esponja que tiene una metalización de
60% a 85%, y una metalización potencial de 85% a 100%. Es aún
25 un objeto adicional de la invención proporcionar un proceso
para enfriar hierro esponja producido por la reducción direc-
ta gaseosa de mineral de hierro en una forma tal que el gas
transfiera al hierro esponja, una cantidad substancialmente
mayor de carbón de lo que hasta ahora había sido posible. Aún
30 es un objeto adicional de la invención producir un hierro es-

1 ponja con un contenido relativamente elevado de carbón quími-
camente combinado, v.gr. de 2.5 a 6% en peso. Otros objetos
de la invención en parte serán obvios y en parte se puntuali-
zarán en la presente a continuación.

5 A fin de explicar adicionalmente la relación
entre los términos "Metalización" y "metalización potencial"
como se utilizaron antes, se supone que:

M = metalización, % en peso

10 $(Fe)_t$ = % en peso de Fe total en el hierro es-
ponja

$(Fe)_o$ = % en peso de Fe presente como FeO en el
hierro esponja

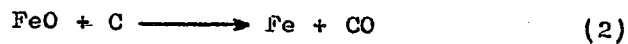
C = % en peso de carbón requerido para re-
ducir el óxido de hierro $(Fe)_o$

15 P_m = metalización potencial, % en peso

La relación entre la metalización, el hierro
total y el óxido de hierro puede escribirse como sigue:

$$M = \frac{(Fe)_t - (Fe)_o}{(Fe)_t} \times 100 \quad (1)$$

20 La reacción en el horno eléctrico mediante la
cual el óxido de hierro en el hierro esponja se reduce con car-
bón, puede expresarse mediante la siguiente ecuación:



25 Ya que un átomo gramo de carbón produce un áto-
mo gramo de hierro elemental:

$$\frac{C}{12} = \frac{(Fe)_o}{55} \quad (3)$$

$$(Fe)_o = 4.67C \quad (4)$$

30 Substituyendo el valor de $(Fe)_o$ de la ecuación
(4) en la ecuación (1) da:

1

$$M = \frac{(\text{Fe})_t - 4.67C}{(\text{Fe})_t} \times 100 \quad (5)$$

simplificando:

5

$$M = \left[1 - \frac{4.67C}{(\text{Fe})_t} \right] \times 100 \quad (6)$$

La razón de cambio de M con respecto a C puede determinarse tomando la derivada de M con respecto a C como sigue:

10

$$\frac{dM}{dC} = - \frac{467}{(\text{Fe})_t} \quad (7)$$

o en forma diferencial:

$$dM = - \frac{467}{(\text{Fe})_t} dC \quad (8)$$

15

De esta manera, para cada cantidad diferencial de carbón, dC, que es consumida de conformidad con la ecuación (2), existe un efecto de reducción que es equivalente a una cantidad diferencial de metalización, dM, como se da por la ecuación (8).

En forma incremental

20

$$\Delta M = - \frac{467}{(\text{Fe})_t} \Delta C \quad (8a)$$

o tomando ΔC igual a menos el contenido de carbón del hierro esponja

25

$$\Delta C = -C \quad (8B)$$

$$\Delta M = \frac{467C}{(\text{Fe})_t} \quad (8C)$$

La metalización potencial es la metalización ordinaria más el equivalente de metalización del carbón en el hierro esponja, y puede expresarse como sigue:

30

$$P_m = M + \Delta M \quad (9A)$$

1
$$P_m = M + \frac{467C}{(Fe)_t} \quad (9B)$$

Un análisis típico del hierro esponja, hecho mediante un proceso tal como aquel descrito en la Patente de los Estados Unidos 3,423,201 es el siguiente:

5

	Fe presente como hierro metálico	43.315%
	Fe presente como Fe_3C	31.400%
	Hierro total no como óxido	74.715%
	Fe como óxido $(Fe)_o$	13.185%
10	Fe total $(Fe)_t$	87.90%
	Oxígeno en FeO	3.9 %
	Carbón presente como Fe_3C	2.1%
	Carbón libre	0.1%
	Carbón total (C)	2.2 %
15	Ganga	$\frac{6.0 \%}{100.0 \%}$

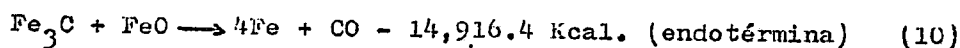
Para un hierro esponja que tiene el análisis dado anteriormente:

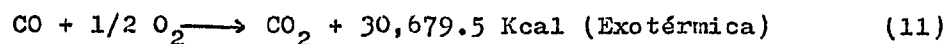
20

	La metalización M de la ecuación (1) es	85%
	El equivalente de metalización del carbón es 5.32C.	11.7%
	La metalización potencial P_m de la ecuación (9) es	96.7%

25 Como se indicó anteriormente, se ha encontrado que una parte considerable del proceso de reducción puede lograrse ventajosamente en el horno eléctrico sin afectar da-
ñinamente la operación del horno, y aún se mejora la economía global de la producción de acero a partir de mineral de hierro. Las reacciones principales involucradas, pueden re-

30 *presentarse como sigue:*





5 Se notará de las ecuaciones anteriores que -
aunque la reacción de reducción es endotérmica, produce monóxido de carbono el cual se oxida a dióxido de carbono mediante una reacción fuertemente exotérmica. De esta manera, la reducción del FeO en el hierro esponja por el carbón en el mismo, no incrementa la carga térmica del horno eléctrico. En general, se ha encontrado que se logran economías globales operando de esta manera la planta de reducción gaseosa para producir hierro esponja que tiene una metalización de 60% a 85%, preferiblemente de 70% a 80%, y completando ventajosamente la reducción en el horno eléctrico, empleando en forma efectiva, la capacidad inherente de reducción a temperatura elevada, del horno.

15 De la descripción anterior, será aparente que si la planta de reducción gaseosa produce un hierro esponja que tiene una metalización de no más de 70 a 80%, y el resto de la reducción va a efectuarse en el horno eléctrico utilizando el contenido de carbón del hierro esponja como agente de reducción, el contenido de carbón del hierro esponja que deja la planta de reducción gaseosa, debe ser del orden de 2.5% a 6%, en peso. Dicho contenido de carbón elevado no puede obtenerse con los procedimientos de la técnica anterior. De conformidad con la presente invención, se utiliza un procedimiento novedoso de enfriamiento usando gas a dos temperaturas, para lograr un hierro esponja de contenido de carbón relativamente elevado.

25 El procedimiento de la invención puede entenderse y apreciarse mejor por referencia a los dibujos anexos, los cuales ilustran un aparato capaz de llevar a cabo el pro
30

1 cedimiento de la invención, y en donde:

La figura 1, es una representación diagramática de una planta de reducción gaseosa capaz de producir hierro esponja con el contenido de carbón elevado deseado;

5 La figura 2 es una gráfica que muestra la relación entre la metalización y el contenido de carbón para un procedimiento de reducción tal como aquel descrito en la patente de los Estados Unidos 3,423,201;

10 La figura 3 es una gráfica que ilustra los perfiles de temperatura típicos que pudieran esperarse a niveles diferentes del lecho de hierro esponja en el reactor de enfriamiento de un sistema de la técnica anterior a intervalos de tiempo diferentes durante el ciclo de enfriamiento; y

15 La figura 4 comprende tres gráficas que ilustran los perfiles de temperatura típicos que pudieran esperarse en el lecho del reactor de enfriamiento cuando se utiliza el procedimiento de la presente invención.

20 Los objetos y ventajas de la presente invención, se logran en general llevando a cabo el enfriamiento y la carburización del hierro esponja en el reactor de enfriamiento en por lo menos dos etapas utilizando gases a dos temperaturas diferentes. En la primera etapa, se hace pasar un gas a una temperatura intermedia esto es, una temperatura entre las
25 temperaturas de enfriamiento y reducción de los procesos conocidos, a través del lecho de hierro esponja en el reactor de reducción. La temperatura intermedia utilizada ordinariamente estará dentro del intervalo de 250° a 800°C., preferiblemente de 400°C a 700°C. Según se puntualizará más completamente a continuación, empleando un gas a una temperatura un
30 poco elevada en la primera etapa del ciclo de enfriamiento,

1 el hierro esponja permanece durante un período de tiempo más
prolongado a una temperatura a la cual ocurre la carburiza-
ción y de esta manera ocurre una cantidad mayor de transfe-
5 rencia de carbón de la que se obtiene en los procedimientos
anteriores utilizando el gas de enfriamiento a temperatura
ambiente a través de todo el ciclo de enfriamiento. También,
ya que la reducción gaseosa del óxido de hierro puede ocurrir
a temperaturas tan bajas como digamos 550°C., la temperatura
relativamente elevada de la primera etapa de enfriamiento del
10 procedimiento presente incrementa en algún grado la reducción
del óxido de hierro que ocurre en el reactor de enfriamien-
to.

Después de que ha ocurrido la cantidad deseada
de carburización, el gas de enfriamiento a temperatura eleva-
15 da se reemplaza por el gas de enfriamiento a baja temperatu-
ra usual que se hace pasar a través del lecho de hierro es-
ponja durante la segunda y cualesquiera etapas subsecuentes
del ciclo de enfriamiento. Como se puntualiza adicionalmente
a continuación, puede ser deseable emplear un procedimiento
20 de enfriamiento de tres o más etapas, que comprende una eta-
pa a temperatura elevada y dos o más etapas a temperatura am-
biente. También, puede ser deseable en la segunda y en las eta-
pas subsecuentes y posiblemente también en la primera etapa
enfriar y recircular el gas de enfriamiento. En dichos casos,
25 es ventajoso a menudo emplear una relación de recirculación
relativamente baja en la primera etapa de enfriamiento a baja
temperatura cuando una porción de lecho puede aún estar a una
temperatura de carburización y una relación de recirculación
relativamente elevada en la segunda etapa o las subsecuentes
30 etapas de enfriamiento a baja temperatura para efectuar un en

1 friamiento rápido del hierro esponja cerca del final del ciclo de enfriamiento. Alternativamente, puede utilizarse una
etapa de enfriamiento a baja temperatura única, con una relación de recirculación de gas continuamente incrementada de
5 manera que el régimen de enfriamiento se incrementa progresivamente como función del tiempo.

La naturaleza de la presente invención puede explicarse y clarificarse adicionalmente por referencia a las
10 figuras 2 a 4 de los dibujos. A partir de una consideración de la ecuación (9) anterior, es evidente que para un valor deseado de metalización potencial (P_m) del hierro esponja producido en la planta de reducción, el contenido de carbón del hierro esponja debe variar inversamente a su metalización.
En particular, a medida que la metalización del hierro esponja producido disminuye, su contenido de carbón debe incrementarse correspondientemente para lograr una metalización potencial dada y, por lo tanto, tomar ventaja de las economías anotadas con anterioridad. Sin embargo, como se muestra en
15 la figura 2, cuando se utilizan las técnicas de carburización de la técnica conocida, el contenido de carbón del hierro esponja varía directamente con respecto a la metalización en lugar de inversamente con respecto a la misma. Más particularmente, la figura 2 es una gráfica del porcentaje de carbón
20 contra el porcentaje de metalización para un procedimiento de enfriamiento y carburización del tipo descrito en la Patente de los Estados Unidos 3,423,201. Aunque esta patente describe un procedimiento de enfriamiento de dos etapas con enfriamiento y recirculación del gas de enfriamiento, no describe la
25 etapa de enfriamiento inicial a temperaturas relativamente elevadas del procedimiento de la presente. Los datos de la fi

1 gura 2 muestran que utilizando este procedimiento de la técnica conocida, se logra un máximo de aproximadamente 2.4% de carbón a una metalización de 90% y que a metalizaciones inferiores, se obtiene un contenido de carbón más bajo en lugar
5 del contenido de carbón más elevado deseado.

La figura 3 ilustra los perfiles de temperatura probables a intervalos separados durante el ciclo de enfriamiento utilizando el procedimiento de enfriamiento de la técnica conocida. En la figura 3 A, B, C y D representan cuatro capas horizontales en las cuales se divide arbitrariamente el lecho. Se supone un flujo descendente del gas de enfriamiento a través del lecho. El ciclo de enfriamiento se divide en diez intervalos y se grafican curvas para el perfil de temperatura al principio de cada intervalo designándose las curvas como θ_0 a θ_9 , respectivamente.
10

Como se muestra en la figura 3, la temperatura inicial varía substancialmente en forma lineal de aproximadamente 1,000°C., en la parte superior del lecho a aproximadamente 700°C en el fondo del lecho. Este perfil de temperatura es aproximadamente el mismo que aquel del lecho al final de la segunda etapa de reducción.
15
20

En el tiempo θ_2 la parte superior del lecho se ha enfriado a una temperatura muy cercana a la temperatura del gas de enfriamiento entrante. En el tiempo θ_5 es el punto medio del ciclo de enfriamiento, más de la mitad del lecho se ha enfriado por debajo de 400°C., esto es, una temperatura por debajo de la cual ocurre relativamente poca carburización.
25

La figura 4 ilustra una modalidad de tres etapas del procedimiento de enfriamiento de la presente invención. Como en el caso de la figura 3, los perfiles de temperatura -
30

1 probables se ilustran para diez intervalos de tiempo. En el
diagrama superior 4A, las curvas de perfil están basadas en
la suposición de que el gas tenga una temperatura de 500°C.,
y fluya hacia abajo a través del lecho. En la segunda y ter-
5 cer etapas ilustradas en los diagramas 4B y 4C, se supone que
el gas de alimentación está a una temperatura ambiente, esto
es, de 25°C., a 30°C.

Como se ilustra en la figura 4, el perfil ini-
cial en el tiempo θ_0 es igual que en la figura 3, esto, es la
10 temperatura varía de 1000°C., en la parte superior del lecho
a 700°C., en el fondo del lecho. En el tiempo θ_1 la tempera-
tura en la parte superior del lecho ha descendido a un poco
por debajo de 700°C., pero está aún bastante por arriba de la
temperatura del lecho de la parte superior en el tiempo θ_1 en
15 la figura 3. En el tiempo θ_5 , esto es, el punto medio del ci-
clo de enfriamiento, casi todo el lecho está por arriba de
400°C., esto es, por arriba de la temperatura a la cual ocu-
rre la carburización, en contraste con la situación ilustrada
en la figura 3, en donde casi la mitad del lecho está por de-
20 bajo de la temperatura de carburización en el punto medio del
ciclo de enfriamiento. El diagrama 4C muestra que entre el -
tiempo θ_7 y el tiempo θ_9 ocurre un enfriamiento muy rápido -
del lecho. De esta manera, una comparación de las figuras 3
y 4 muestra que utilizando la etapa de enfriamiento a tempera-
25 tura elevada del procedimiento presente, el lecho puede mante-
nerse dentro del intervalo de temperatura de carburización -
por una proporción substancialmente mayor del ciclo de enfria-
miento.

30 La cantidad de tiempo en que el lecho se enfría
con el gas a temperatura intermedia, variará como una función

1 de factores tales como la metalización deseada y la metaliza
ción potencial del hierro esponja y la longitud total del ci
clo de enfriamiento. Típicamente, la primera etapa de enfria
5 m miento o de temperatura elevada, comprenderá aproximadamente
la tercera parte del período de enfriamiento. Si se utilizan
ciclos de enfriamiento y de reducción relativamente cortos -
para producir un producto de hierro esponja de baja metaliza
ción, la carburización debe llevarse a cabo durante una pro
porción más elevada del ciclo de enfriamiento, a fin de obte
10 ner una transferencia suficiente de carbón al hierro esponja
para lograr una metalización potencial aceptable.

Como se puntualizó anteriormente, el gas efluen
te del reactor de enfriamiento puede enfriarse y recircularse
durante una o más de las etapas de enfriamiento del proce
15 dimiento presente. En general, dicha recirculación incrementa
el régimen de flujo de masa de gas que pasa a través del le
cho y acelera el proceso de enfriamiento. Esto es especial
mente ventajoso en la última parte del ciclo de enfriamiento
cuando la temperatura del lecho ha descendido por debajo de
20 la temperatura a la cual ocurre una carburización significa
tiva. En una modalidad de tres etapas típicas del procedimien
to presente, la relación volumétrica del gas recirculado a -
gas de enfriamiento nuevo, puede ser de 0 a 0.5 en la prime
ra etapa, de 0.3 a 1.5 en la segunda etapa y de 0.8 a 3.0 en
25 la tercera etapa de enfriamiento.

Con referencia ahora a la figura 1, que ilustra
el aparato capaz de llevar a cabo el método de la invención,
el sistema de reducción gaseosa mostrado comprende un reactor
10 de enfriamiento, un reactor 12 de reducción primaria, un
reactor 14 de reducción secundaria y un reactor 16 de carga.
30

1 El gas reductor para enfriar, carburizar y reducir el mate-
rial ferroso en los diversos reactores del sistema, se gene-
ra mediante conversión catalítica de gas natural y vapor a
5 monóxido de carbono e hidrógeno en un reformador generalmen-
te designado 18. El gas natural u otro hidrocarburo adecuado,
se suministra a través del tubo 20, fluye a través del ser-
pentín de precalentamiento en la chimenea 22 del reformador
18, de ahí a través del tubo externo 24, un segundo serpentín
de precalentamiento en la chimenea 22 y un tubo externo 26 al
10 cuerpo del reformador. El vapor del tubo 28 se suministra al
tubo 24 y se mezcla con el gas de hidrocarburo en el mismo.
La mezcla resultante de vapor y gas de hidrocarburo fluye a
través del tubo 26 de ahí a través de los tubos de catalizador
en el reformador 18 en donde se calienta a una temperatura -
15 elevada y se convierte al gas de reducción deseado.

El gas efluente del reformador 18 fluye a tra-
vés del tubo 30 a un enfriador 32 de contacto directo, el -
cual enfría el gas para separar el agua del mismo. El gas en-
friado deja el enfriador 32 a través del tubo 34 que contiene
20 un controlador de contrapresión 36 y fluye sucesivamente a
través del reactor 10 de enfriamiento, el reactor 12 de reduc-
ción primaria y el reactor 14 de reducción secundaria. Duran-
te la porción de la operación que se está describiendo aquí,
el reactor 16 se desconecta del sistema de manera que puede -
25 separarse del mismo el hierro esponja producido y cargarse al
reactor con mineral nuevo. El gas de reducción en el tubo 34
fluye inicialmente ya sea a través del tubo 38 que contiene
la válvula 40 o el tubo 42 que contiene las válvulas 44 y 45.
Al principio de un ciclo de operación, la válvula 44 se cierra
30 y la válvula 40 se abre para provocar que el gas de reducción

1 fluya hacia, y a través de un calentador 46 en donde el gas
se calienta a una temperatura elevada, digamos de v.gr. 400
a 700°C. Desde el calentador 46, el gas fluye a través del
5 tubo 48 a una cámara de combustión 50 que se comunica con el
interior del reactor de enfriamiento 10. La función de la cá-
mara de combustión se describirá a continuación en relación
con la operación de los reactores de reducción 12 y 14. Cuan-
do un reactor del sistema está funcionando como un reactor
de enfriamiento tal como el reactor 10 de enfriamiento, la
10 cámara de combustión 50 actúa meramente como un conductor pa-
ra el gas de enfriamiento entrante.

Dentro del reactor 10, el gas reductor, el cual
se ha calentado a una temperatura elevada, fluye hacia abajo
a través del lecho de hierro esponja en el mismo, y de ahí
15 fuera del reactor 10 a través del tubo 52 al enfriador 54, -
en donde se enfría y se deshidrata. Dentro del reactor 10, e
gas reductor a temperatura elevada, enfría el hierro esponja
como se describió antes, a una temperatura dentro del inter-
valo de carburización para provocar que el carbón se trans-
20 fiera del gas al hierro esponja. Desde el enfriador 54, el -
gas fluye a través del tubo 56 a los reactores de reducción
12 y 14, como se describe a continuación.

Al final de la primera etapa de enfriamiento o
período de enfriamiento, la válvula 40 se cierra y la válvu-
25 la 44 se abre para provocar que el gas de reducción enfriado
fluya a través del tubo 42 a la parte superior del reactor
10 de enfriamiento, y de ahí hacia abajo a través del lecho de
hierro esponja en el mismo. El gas de enfriamiento enfría el
lecho de hierro esponja en la forma descrita anteriormente en
30 relación con la figura 4. Después de fluir a través del lecho

1 de hierro esponja en el reactor 10 de enfriamiento, el gas -
pasa a través del tubo 52 y el enfriador 54 al tubo 56 y de
ahí a los reactores de reducción 12 y 14.

5 Durante la segunda etapa de enfriamiento o pe-
ríodo de enfriamiento, es usualmente deseable recircular una
porción del gas de enfriamiento, para lo cual se extrae gas
del tubo 56 a través del tubo 58 mediante la bomba 60 y se -
bombea a través del tubo 62 al tubo 42, en donde se mezcla
con el gas enfriado nuevo del reformador y se suministra al
10 reactor de enfriamiento 10. A fin de proporcionar un flujo re-
gulable de gas recirculado aún cuando se opera la bomba 60 a
una velocidad constante, el tubo de descarga 62 se conecta al
tubo de entrada 58 mediante un tubo de flujo de regreso 64 -
que contiene un controlador de contrapresión 66. Ajustando e-
15 punto de control del controlador 66, puede controlarse fácil-
mente la cantidad de gas que fluye a través del tubo de flu-
jo de regreso 64 y por lo tanto la cantidad neta de gas re-
circulado. En los casos en donde se utilizan tres períodos
o etapas de enfriamiento que comprenden un período de enfria-
20 miento con gas caliente y dos períodos de enfriamiento con
gas enfriado, es usualmente deseable que el gas se recircule
a una relación relativamente baja durante el segundo período
de tiempo y a una relación relativamente alta durante el ter-
cer período de tiempo. Según se indicó anteriormente, la re-
25 lación volumétrica del gas de enfriamiento recirculado al gas
de reducción nuevo del reformador durante el segundo período
de tiempo puede por ejemplo variar de 0.3 a 1.5 y durante el
tercer período de tiempo puede variar de 0.8 a 3.0. También,
si se desea, algo del gas puede recircularse durante la prime-
30 ra etapa de enfriamiento.

1 El gas que deja el circuito del reactor de en-
friamiento a través del tubo 56 fluye sucesivamente a través
del reactor de reducción primaria 12 y el reactor de reduc-
ción secundaria 14. El reactor 12 contiene material ferroso
5 que se ha reducido parcialmente en un ciclo previo. El reac-
tor 14 contiene mineral nuevo, y la reducción inicial del mi-
neral ocurre en este reactor. Más particularmente, el gas de
tubo 56 fluye hacia y a través de un calentador 68 en donde
se calienta a una temperatura digamos de 750^a a 950^oC., de -
10 ahí a través de un tubo 70 a la cámara de combustión 72, si-
milar a la cámara de combustión 50, asociada con el reactor
10. Si se desea, puede interponerse un sobrecalentador 71 en
el tubo 70 para efectuar una parte del calentamiento del gas
de reducción.

15 Con la cámara de combustión 72 el gas reductor
se mezcla con una cantidad menor de aire y se quema parcial-
mente para elevar la temperatura de la mezcla digamos de 950^o
a 1100^oC. El aire que se mezcla con el gas reductor se preca-
lenta en un calentador 74 y fluye a través del tubo 76 y el
20 tubo 78 que contiene la válvula 80 a la cámara de combustión
72. El aire calentado se suministra también a través de un tu-
bo 82 que contiene la válvula 84 a la cámara de combustión -
50 del reactor 10 y a través de un tubo 86 que contiene una
válvula 88, a la cámara de combustión 90 del reactor 14. Du-
25 rante la porción del procedimiento de reducción que se está
describiendo aquí, la válvula 84 está cerrada y las válvulas
80 y 88 están abiertas.

30 El gas reductor caliente fluye de la cámara de
combustión 72 al interior del reactor 12 y de ahí descenden-
temente a través del lecho de material ferroso para continuar

1 su reducción. El gas efluente del reactor 12 fluye a través
del tubo 92, el enfriador 94 y el tubo 96 al calentador 98,
en donde se calienta nuevamente a una temperatura del orden
de 750° a 950°C. El gas reductor calentado fluye a través -
5 del tubo 100 a la cámara de combustión 90, en donde se mez-
cla con una pequeña cantidad de aire y, por lo tanto, se que-
ma parcialmente para incrementar la temperatura de la mez-
cla. El gas caliente entra en el reactor 14 y fluye hacia -
abajo a través del cuerpo del material ferroso en el mismo, pa-
10 ra reducirlo parcialmente.

El gas de reducción agotado, efluente, del reac-
tor secundario 14 fluye a través del tubo 102 y el enfriador
104 a un cabezal de gas reductor agotado 106. El gas agotado
tiene aún valor como gas combustible y puede utilizarse como
15 se ilustra en el dibujo para suministrar calor a los calenta-
dores 46, 74 y 98 y al reformador 18. Un gas en exceso, no -
requerido para estos propósitos, puede enviarse a un punto -
adecuado de almacenamiento.

El reactor 16 se provee con un calentador 108
20 similar a los calentadores 46, 68 y 98 y una cámara de combus-
tión 110 similar a las cámaras de combustión 50, 72 y 90 de
los reactores 10, 12 y 14, respectivamente. Sin embargo, ya -
que el reactor 16 se descarga y se carga durante la porción
del proceso de reducción que se está describiendo aquí, el ca-
25 lentador 108 y la cámara de combustión 110 son inoperantes du-
rante esta porción del proceso de reducción.

De la descripción anterior, debe ser aparente -
que la presente invención proporciona un método capaz de lo-
30 grar los varios objetos de la invención delineados anterior-
mente. Utilizando un gas calentado en la etapa de enfriamien-

1 to inicial del ciclo de enfriamiento del hierro esponja, el
hierro esponja se mantiene durante un período de tiempo re-
lativamente prolongado a una temperatura dentro del interva-
5 lo de carburización, proporcionando de esta manera una trans-
ferencia excepcionalmente elevada del carbón del gas de en-
friamiento al hierro esponja. Utilizando el método presente,
puede producirse un hierro esponja con un contenido de carbu-
ro de hierro que corresponde digamos a de 2.5 a 6% en peso -
de carbón, preferiblemente de 3% a 5%. Se han puntualizado -
10 anteriormente las numerosas ventajas de la producción de di-
cho hierro esponja y de su empleo en un horno para la fabri-
cación de acero. Un hierro esponja típico producido mediante
el procedimiento presente, puede tener la siguiente composi-
ción:

15	Oxido de hierro, FeO	25.7
	Carburo de hierro Fe ₃ C	57.1
	Hierro metálico, Fe	9.9
	Carbón libre	.2
	Ganga	<u>7.1</u>
20		100.0
	Metalización	76%
	Metalización potencial	96%
	Carbón total	4.0%

25 Dicho alto grado de transferencia de carbón del
gas reductor al hierro esponja permite la producción de hie-
rro esponja con baja metalización, combinada con una metali-
zación potencial relativamente elevada. Esta combinación de
baja metalización, esto es, una metalización de 60 a 85%, en
combinación con una metalización potencial elevada de 85 a
30 100%, es necesaria a fin de aumentar a un máximo la economía

1 global que puede obtenerse llevando a cabo una parte substan-
cial de la reducción en un horno eléctrico u otro tipo adecua-
do de horno para la fabricación de acero.

5 Por supuesto, se sobrentiende que se pretende
que la descripción anterior sea únicamente ilustrativa, y que
pueden hacerse numerosos cambios en los procedimientos y el
aparato descritos, sin apartarse del espíritu de la invención,
según se establece en las reivindicaciones anexas.

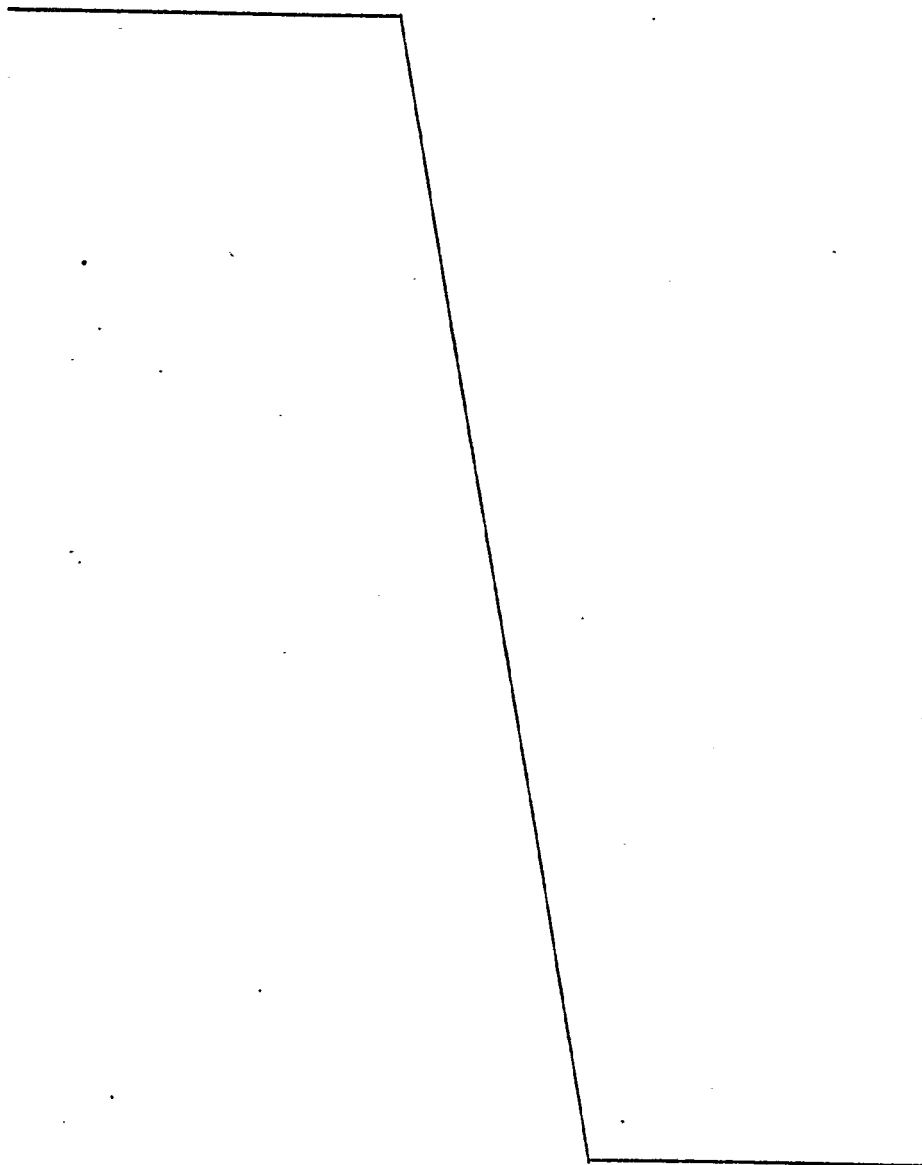
10

15

20

25

30



REIVINDICACIONES

1

5

10

15

20

25

30

1. Un procedimiento para la reducción, por cargas de material, de un óxido metálico en metal esponjoso, mediante contacto con un gas reductor caliente, en un sistema reactor de unidades múltiples, del tipo en el que se tratan simultáneamente cuerpos fijos separados de material que posee metal, en una pluralidad de reactores, que incluye por lo menos un reactor enfriador y, por lo menos, un reactor de reducción, haciéndose pasar gas reductor frío contentivo de carbono por un reactor enfriador de dicho sistema, calentándose el mismo a una temperatura de 950 a 1100°C, y haciéndose pasar dicho gas reductor por un reactor de reducción del indicado sistema, procedimiento caracterizado porque se calienta previamente una corriente del gas reductor frío a una temperatura de 250 a 800°C, se hace pasar dicha corriente caliente de gas reductor a través del indicado lecho de material contentivo de metal de dicho reactor enfriador durante un primer período de tiempo para carburar el metal del mismo y reducir el óxido metálico allí presente, pasándose después una corriente de dicho gas reductor frío y no previamente calentado a través del indicado lecho de material contentivo de metal del referido reactor enfriador durante un segundo período de tiempo para completar el enfriamiento de dicho material.

2. Un procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el gas reductor se genera mediante reforma catalítica de una mezcla de vapor e hidrocarburo para formar una mezcla compuesta fundamentalmente de monóxido carbónico e hidrógeno.

3. Un procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por el hecho de que se calienta la corriente de gas reductor a una temperatura de 400 a 700°C, antes de hacerlo pasar por el lecho de material contentivo de metal del reactor enfriador.

4. Un procedimiento según cualquiera de las reivindica-

1 ciones precedentes, caracterizado por el hecho de que durante el segundo período de tiempo, se enfría y se recicla al lecho una porción del gas reductor que fluye a través del lecho de material contentivo de metal.

5 5. Un procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que durante el segundo período de tiempo, la razón volumétrica de reciclado del gas enfriador respecto al gas reductor renovado procedente del reformador es de 0,3 a 1,5.

10 6. Un procedimiento según las reivindicaciones 4 y 5, caracterizado por el hecho de que la razón volumétrica de gas reciclado respecto al gas no reciclado aumenta progresivamente durante el segundo período de tiempo.

15 7. Un procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que al final del segundo período de tiempo se hace pasar una corriente del gas reductor enfriado a través del lecho de material contentivo de metal durante un tercer período de tiempo y durante dicho tercer período de tiempo se enfría y recircula una porción del gas efluente procedente del citado lecho, siendo la mencionada porción mayor que la porción reciclada durante el segundo período de tiempo.

20 8. Un procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por el hecho de que la razón volumétrica de gas reciclado respecto al gas reductor renovado procedente del reformador durante el tercer período de tiempo es de 0,8 a 3,0.

25 9. Un procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que durante el primer período de tiempo, se enfría y recicla una porción del gas efluente procedente del lecho de material contentivo de metal.

30 10. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que el óxido metá-

1 lico es mineral de hierro y de que el metal esponjoso es hierro esponjoso.

11. Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: UN PROCEDIMIENTO
5 PARA LA REDUCCION POR CARGAS DE MATERIAL DE UN OXIDO METALICO EN METAL ESPONJOSO.

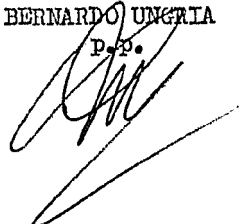
Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente memoria descriptiva que consta de veintisiete páginas mecanografiadas y dibujos adjuntos.

10

Madrid, 31 de Diciembre de 1.976

BERNARDO UNGRIA

P.P.



15

20

25

30

FIG. 1

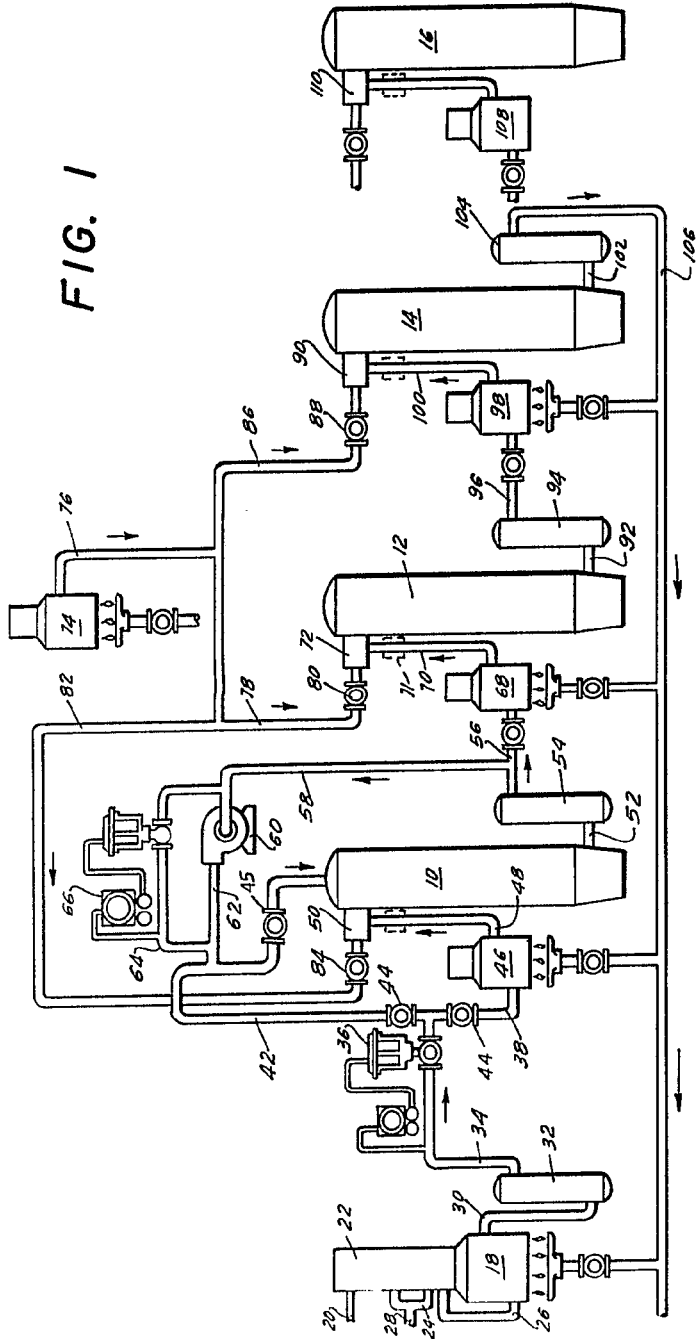


FIG. 3

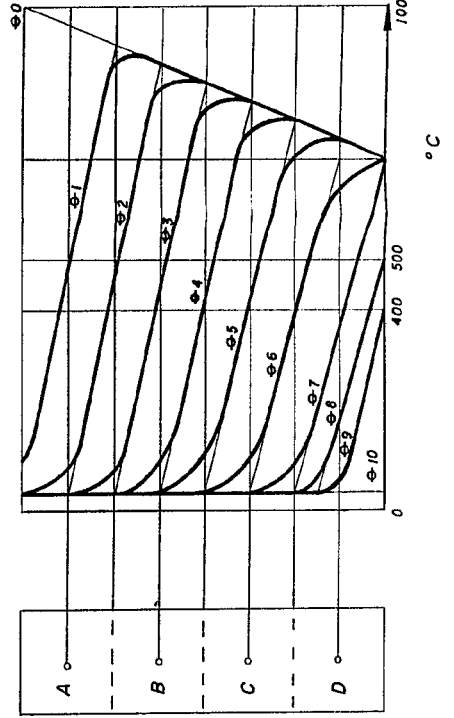
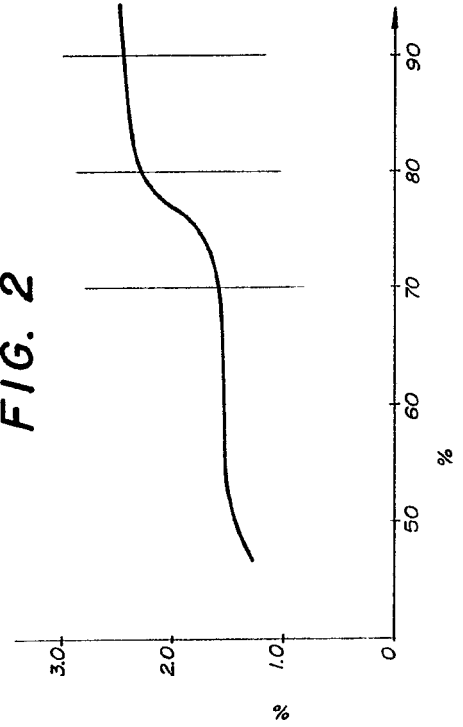


FIG. 2



ESCALA VARIABLE
 Madrid, 21 Diciembre 70
 1000 BERNARDO LARGIERA
 P. 11

FIG. 1

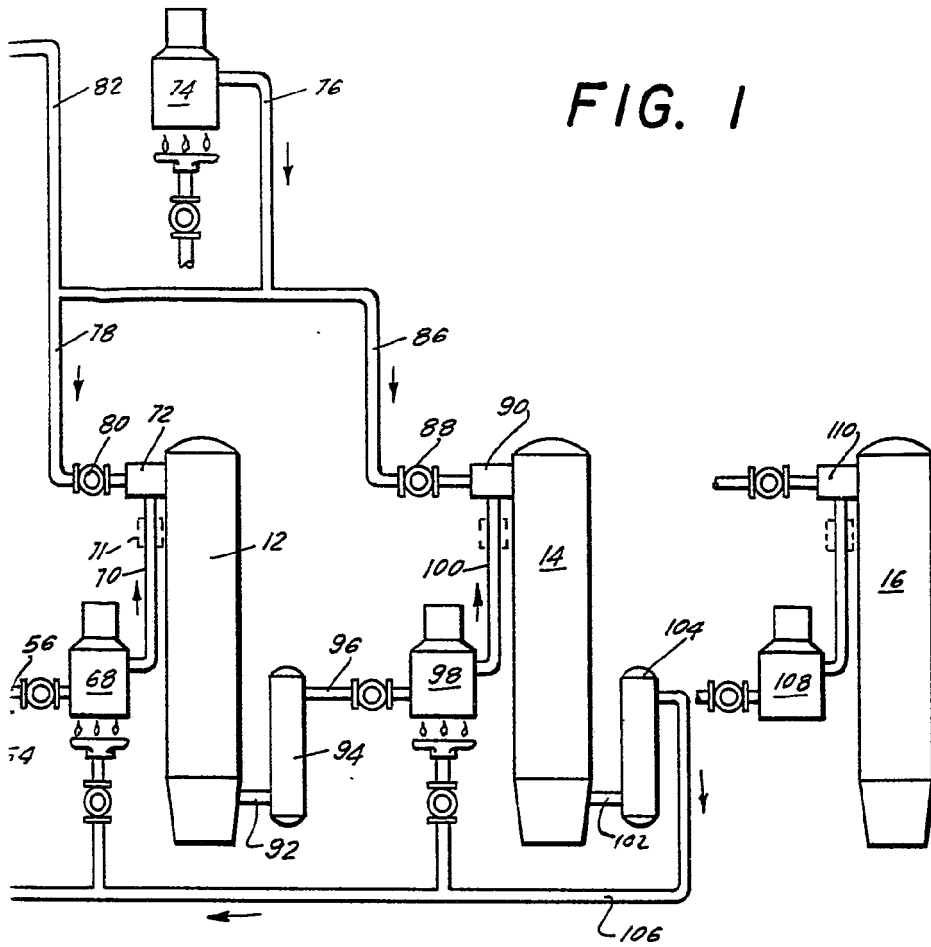
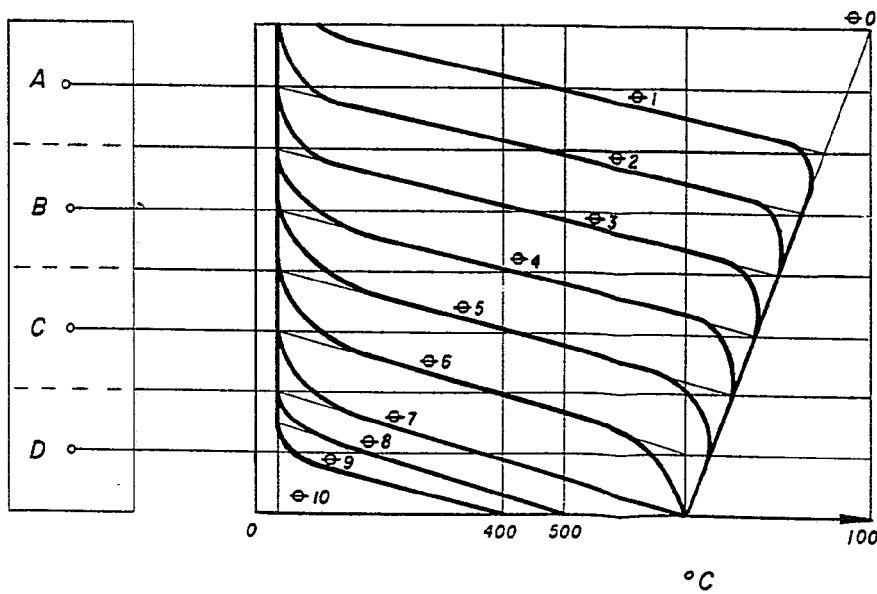


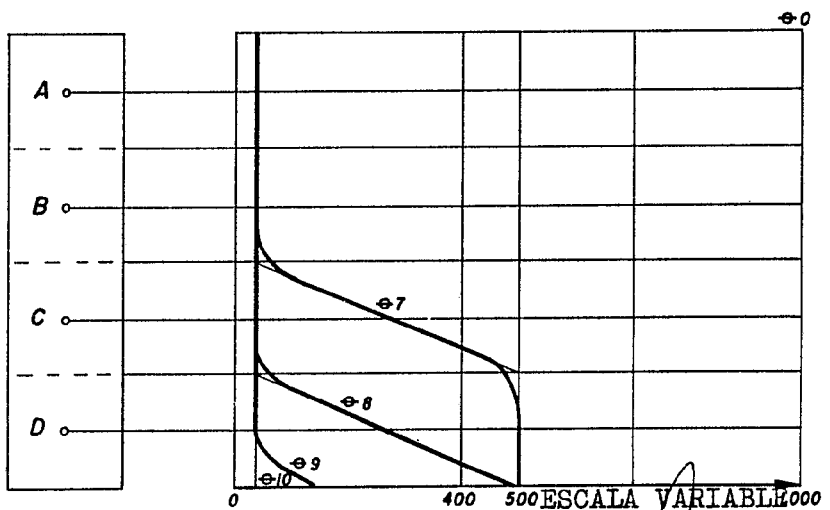
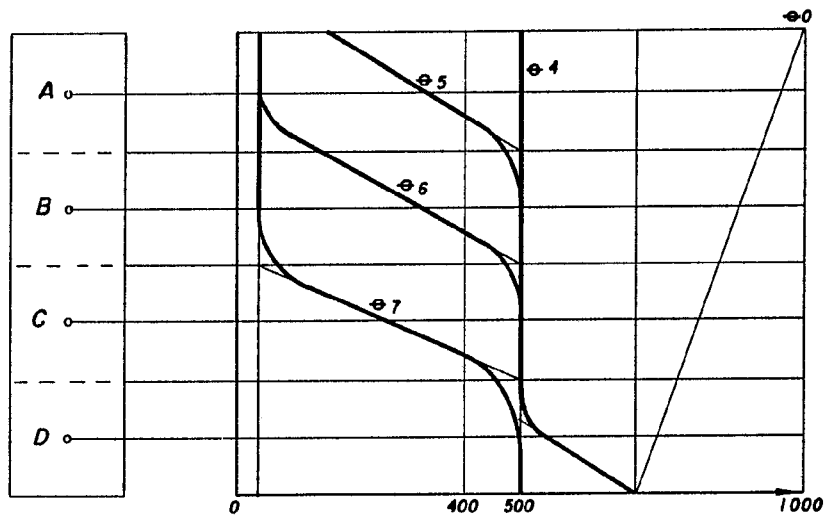
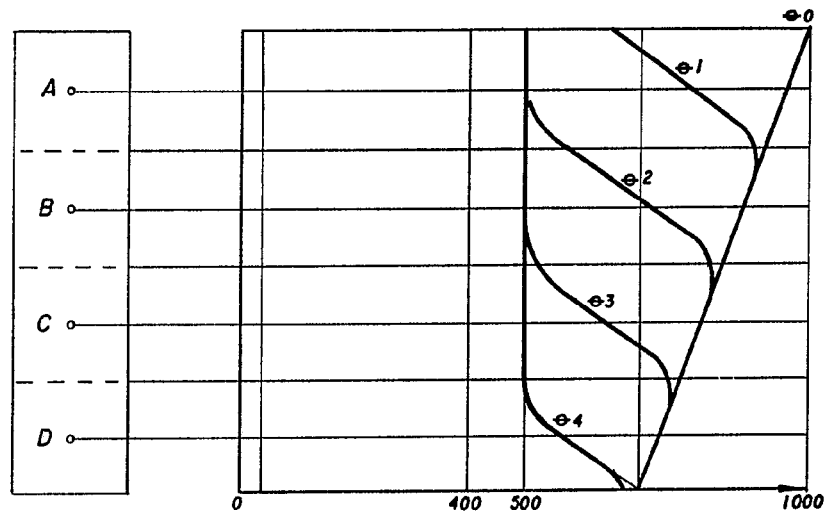
FIG. 3



ESCALA VARIABLE
 Madrid, 31 Diciembre 76
 BERNARDO UNGRIA

[Handwritten signature]

FIG. 4



400 500 ESCALA VARIABLE 1000
Madrid, 31 de Diciembre 76
BERNARDO UNGRÍA

[Handwritten signature]